

SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLES SUDS

SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS

MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Presentado por:

GILMA INÉS ESCOBAR RUIZ

Dirigido por:

Dr Juan Antonio Pascual

Dra. Irene De Bustamante

Alcalá de Henares, a 13 de Septiembre de 2021

AGRADECIMIENTOS

En estos momentos por los que pasamos actualmente, quiero agradecer primeramente a Dios por permitirme estar elaborando este escrito porque en medio de algunas dificultades e podido desarrollar este documento y porque dentro de todo me ha dado el privilegio de estar bien de salud en estos tiempos de pandemia. También agradecer a mi madre por motivarme hacer este master, a mi esposo y a mi hija por la paciencia de esperar y entender cuando e estado estudiando y trabajando para el desarrollo del master, de igual forma gracias a mis amigos y compañeros de trabajo por motivarme y ayudarme cuando los necesite y finalmente a los docentes y directores de este master por su empeño para aportarnos su conocimiento y experiencia en estos temas relacionados con la hidrología y los recursos hídricos y de esta forma cautivarnos y motivarnos más en estas áreas del conocimiento.

En una palabra, para todos GRACIAS.

INDICE

RESUMEN	6
1 INTRODUCCIÓN	7
2 OBJETIVOS.....	9
3 METODOLOGÍA	10
4 RESULTADOS	11
4.1 SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE SUDS	11
4.2 GESTION DEL AGUA LLUVIA EN LAS CIUDADES	12
4.3 SUDS COMO ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA GESTIÓN DEL AGUA LLUVIA.....	13
4.4 TIPOLOGIA DE LOS SUDS	14
4.4.1 POZOS Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN:	16
4.4.2 DEPÓSITOS:	16
4.4.3 ESTANQUE DE RETENCIÓN:.....	18
4.4.4 CUBIERTAS VERDES:	19
4.4.5 PAVIMENTOS PERMEABLES:	22
4.4.6 ÁREAS DE BIORRETENCIÓN:.....	24
5 APLICACIÓN.....	28
5 DISCUSIÓN.....	49
6 CONCLUSIONES	51
7 BIBLIOGRAFIA.....	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Manjole Rebosado.....	12
Figura 2. Inundación en guachaca (Fuente wradio.com.co).....	13
Figura 3. TIPOLOGÍA DE LOS SUDS., (A partir de datos de www.sudsostenible.com/)	14
Figura 4. Deposito superficial de detención (Fuente www.sudsostenible.com/).	17

Figura5. Estructura prefabrica para infiltración, (Fuente: www.precastdrainage.co.uk)	18
Figura 6. Impermeabilización del estanque, (Fuente: www.aristegui.info/)	19
Figura 7. Cubiertas con la metodología de techos verdes, (Fuente: www.archdaily.com) .	20
Figura 8. Estructura de las capas de las cubiertas verdes (Fuente: www.sudsostenible.com/).....	21
Figura 9. alamedas peatonales permeables en Panamá, (tomado de https://www.360enconcreto.com).....	23
Figura 10. Sección en planta de un sistema de Área de Bioretención, (Fuente de www.suddostenible.com)	25
Figura11. Corte del sistema de área de Bioretención, (Fuente www.suddostenible.com) ..	25
Figura 12. Área de estudio.....	29
Figura 13. Estudio de suelo sondeos 1 (Fuente Estudio Geotécnico de la construcción de ptap de los pozos en rebombeo en Gaira, Santa Marta D.T.C.H.)	30
Figura 14. Estudio de suelo sondeos 2 (Fuente de Estudio Geotécnico de la construcción de ptap de los pozos en rebombeo en Gaira, Santa Marta D.T.C.H.)	31
Figura 15. Coeficiente de permeabilidad K (Fuente de Codolá,2015).....	32
Figura 16. Área con aguas estancadas	33
Figura 17. Topografía de la cuenca (Suministrado por la Empresa ESSMAR E.S.P,2021)	34
Figura 18 Curva IDF Universidad Tecnológica Magdalena (Fuente de www.Ideam.gov.co)	35
Figura No 19 Hietograma tiempo de retorno 5 años para un tiempo de 3:30 horas.....	38
Figura 20. Introducción de datos en el programa Epanet SWMM.....	40
Figura 21. Introducción de Hietograma Epanet SWMM	40
Figura 22. Introducción de pluviómetro con sus datos Epanet SWMM	41
Figura 23 Introducción de datos en el programa.	42
Figura 24 Introducción de datos en el programa	44
Figura 25 Introducción de datos en el programa	44
Figura 26 Introducción de datos en el programa	44

Figura 27 Introducción de datos en el programa	45
--	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructura de las capas para e método de superficies ó pavimentos permeables (Fuente Rodríguez. 2013).....	23
Tabla 2. Precipitación mm/h para tiempo de retorno de 5 años (basado en datos Ideam). .	36
Tabla 3. Cálculos de precipitaciones para 200min	37
Tabla 4. Datos para la realización del Hietograma.....	38
Tabla 5. Resultados para el nudo 2 en Epanet SWMM.....	41
Tabla 6 Datos de entrada en Epanet SWMM para jardín de lluvia	42
Tabla 7 Resultados en Epanet SWMM para jardín de lluvia	43
Después de correr la modelación con los tres tipos de SUDS, se obtienen los siguientes resultados, que se pueden observar en la tabla 8.	45
Tabla 8 Resultados en Epanet SWMM incluyendo los SUDS de jardín de lluvia, techos y cuneta verdes	45
Tabla 9. Parámetros y volúmenes para los techos verdes	47
Tabla 10 y 11 volúmenes para cunetas verdes	47
Tabla 11 Calculo de caudal y volumen de infiltración.....	48
Tabla 12 Tabla resumen de volúmenes	49

TABLA DE ABREVIATURAS

SUDS: Sistemas de drenaje sostenible.

BMP: (Best Management Practices) Mejores prácticas de gestión.

MPC Mejores Prácticas de Control.

RAS: Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.

PTO: Plan de ordenamiento territorial.

DMA : Directivo Marco Europeo del agua

RESUMEN

En el presente trabajo de máster se realiza un estudio bibliográfico referente a los SUDS; en él se muestra cómo surgió el concepto de sostenibilidad y como se fusionó con el concepto de los sistemas de drenaje, mirando de esta forma una alternativa de manejar las aguas pluviales de las actuales urbes, logrando remediar las problemáticas que ha traído el desarrollo y el crecimiento de las ciudades como lo es la impermeabilización de grandes áreas terrestres, por vías pavimentadas donde antes se facilitaba la infiltración del agua al subsuelo cumpliendo su ciclo hídrico y que hoy en día escurre por las principales vías de las ciudades arrastrando toda clase de contaminantes encontrados en las vías y transportando todo el caudal recolectado de cubiertas y vías, terminando de verter en ríos y mares, contaminando de esta forma cuerpos de agua y produciendo a su paso otros problemas como inundaciones o reboses de los actuales sistemas de drenajes, estas soluciones están integradas a los embellecimiento de los entornos; tienen distintas tipologías que se utilizan de acuerdo al tratamiento con el que se quieran manejar la problemática determinada y pueden ser de tipo estructural o no estructural, estas medidas tienen muchas ventajas como son controlar los caudales y volúmenes de las escorrentías, controlar la calidad de las aguas y finalmente brindar bienestar a los ciudadanos. Una vez realizado el estudio bibliográfico, se realiza un modelo mediante el programa EPA SWMM 5.1.015

1 INTRODUCCIÓN

Como es de conocimiento general se sabe que el agua en el mundo se distribuye 97,5 % en océanos, mares, aguas saladas y el agua dulce corresponde al porcentaje restante del 2,5%, de este último porcentaje el 69% pertenece a océanos, el 30% a humedales del suelo y acuíferos profundo, el otro 1% corresponde al agua dulce que escurre por ríos y arroyos y se depositan en lagos, lagunas, cuerpos superficiales de agua y acuíferos, este último porcentaje realmente es el 0,025 del porcentaje total del agua total en la tierra, que finalmente es la que se repone regularmente por medio del ciclo hidrológico.

Parte importante del ciclo hidrológico es la precipitación la cual cae sobre superficie terrestre donde debido a la gravedad corre sobre la superficie, esto por la escorrentía superficial la cual puede ser infiltrada o transportada a ríos y océanos.

Pero debido al desarrollo y crecimientos de la ciudades en donde casi totalmente sus áreas son impermeable debido a la infraestructura construida en concretos y/o en materiales semejantes han cambiado significativamente este ciclo, impidiendo o reduciendo las infiltraciones en terrenos naturales, y permitiendo mayores escorrentías superficiales que se concentran con rapidez y que a su vez son transportadas por sistemas convencionales de desagüe pluviales o por las calles principales de las ciudades, estos en su mayoría ya insuficiente para estos desagües que finalmente terminan causando una problemática a los habitantes por que se generan desbordamientos e inundaciones.

Por otro lado a lo largo del trayecto de la conducción del agua a través de las vías por escorrentía se pueden encontrar contaminantes producidos por la actividades humana como aceites, pesticidas, metales, basuras entre otros que pueden traer como consecuencias problemas de salud y contaminación ambiental, estos contaminantes son arrastrados hasta los puntos de vertimiento de las aguas pluviales como los ríos, mares, ciénagas o cualquier otro cuerpo de agua, provocando contaminación a los afluentes que muchas veces son utilizados como captaciones para uso de consumo humano.

La evolución y al desarrollo de las urbes, ha traído como consecuencias estos problemas, a los cuales el hombre a buscado la forma de darle solución, partiendo de la sostenibilidad, es así como proponen la solución de los drenajes urbanos sostenibles conocidos como SUDS

donde los objetivos son prevenir inundaciones, mejora la calidad de las aguas, recargas de acuíferos, mejoras en el paisajismo, todo esto permite la conservación del medio ambiente, la optimización del recurso agua lluvia y el aprovechamiento de estas aguas pluviales.

Este sistema no convencional de la gestión del agua pluvial no tiene muchos años de estar desarrollándose en el mundo, aunque se dice que el estudio de las diferentes técnicas de drenaje urbano sostenibles se inició en la década de 1970 en los EEUU con el nombre de BMPs y después, a finales de 1980, en Europa, donde se extendió más por los países del centro y del norte que en los países del sur y fue en Reino Unido donde se dio el nombre de SUDS (Fuentes, 2015). Por tanto, estos países son los que en materia de aplicación de esta técnica tienen la vanguardia junto con otros países como china y japon, de igual forma han avanzado en investigaciones y literatura de esta clase de temas.

Toda esta literatura en la cual ya han avanzado muchos países y autores sirven como base para la construcción de metodologías y para la implementación de SUDS a lo largo del mundo, la aplicación de esta metodología novedosa de drenaje al ser integrada con los actuales y construidos sistemas de drenaje urbanos convencionales, resultan ser una solución a la problemática actual que sufren muchas ciudades a causa de la insuficiente infraestructura de drenaje pluvial provocada por el aumento del mismo urbanismo. De igual forma es importante tener en cuenta que cada SUDS, debe realizarse de acuerdo los requerimientos, características y limitaciones del sector donde se pretenda construir.

Partiendo que estos sistemas son muy recientes en su utilización y poco utilizados en los países en vía de desarrollo, se pretende en este documento hacer una revisión bibliográfica de estos sistemas de drenaje urbano sostenible, como de su estructura y las técnicas que permiten su desarrollo.

2 OBJETIVOS

Debido a la impermeabilización de las ciudades a causa del acelerado crecimiento y al desarrollo urbano, el ciclo hídrico se ha visto modificado ya que las aguas pluviales no tienen donde filtrarse y las que escurren por drenaje convencionales pueden llegar a contaminarse con los suministros o materiales utilizados por el hombre en su diario labor por contaminación difusa, que también perjudica a los cauces de los ríos y a su ecosistema, causado por el vertimiento final de estas aguas. Mientras esto sucede en muchos lugares del mundo el agua es un recurso escaso, en donde el agua pluvial podría ser aprovechada, no obstante también es importante considerar que en muchas ciudades los alcantarillados o drenajes pluviales se encuentran colapsados, provocando reboses, inundaciones y arroyos, trayendo a su vez un sin número de problemas a los habitantes de distintas ciudades, en esta problemática es donde surge la necesidad de crear sistemas que ayuden a solucionar de forma sostenible los impactos producidos por las fuertes precipitaciones sobre terrenos totalmente impermeables, es así como actualmente en el mundo se está utilizando los sistemas de drenaje sostenible más denominados como SUDS, unos países cuentan con más avance e investigaciones que otros en este tema, lo mismo sucede con esta literatura que aún no es muy popular y poco conocida en algunos sectores, por esta razón se realiza este trabajo de grado para hacer una revisión bibliográfica de estos sistemas y de las técnicas que permiten su desarrollo, que a su finalización podrá servir como consulta para personas interesadas en conocer la metodología del SUDS y así incentivarse a diseñar o proponer sistemas de drenajes urbanos sostenibles para áreas o ciudades que lo requieran.

OBJETIVO GENERAL

Determinar mediante un análisis bibliográfico si los sistemas de drenaje urbano sostenible SUDS, es una metodología óptima para la gestión de las aguas lluvias y la preservación de los recursos ambientales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los principales objetivos que busca la implementación de los SUDS.
- Diferenciar las distintas tipología o clasificación de los sistemas de drenaje urbano sostenible SUDS.
- Determinar las ventajas e inconvenientes de la utilización de los sistemas de drenaje urbano sostenible, partiendo de la aplicación de una de esta metodología. Aplicando el programa EPA SWMM 5.1.015, con el fin de calcular a la zona de estudio los posibles caudales

gestionados .

3 METODOLOGÍA

La Metodología con la que se desarrolla el trabajo es cualitativa, y se partió de la revisión bibliográfica referente a los sistemas de drenaje urbano sostenible SUDS, para esto se ejecutaron las siguientes etapas:

1. Lo primero fue plantear la pregunta por qué y para que se requería los sistemas de drenaje urbano sostenible SUDS.
2. Búsqueda y recopilación bibliografía, se buscó por Google, por buscadores especializados, en portales de artículos científicos como researchgate, Science Direct de Elsevier y libros físicos en librerías. De esta búsqueda se obtuvieron artículos, tesis, trabajos finales de máster, blogs y libros.
3. Análisis y selección de la bibliografía: se analizó la bibliografía recopilada y seleccionar la de interés teniendo en cuenta veracidad, calidad y relevancia.
4. Planteamiento del esquema: se esquematizó cómo se desarrollaría y presentaría la revisión bibliográfica.
5. Elaboración de la revisión bibliografía: se desarrolló y analizó la revisión bibliografía de acuerdo con los objetivos planteados.
6. Elaboración de diseño de drenaje sostenible para un área determinada
7. Escritura del documento.

4 RESULTADOS

4.1 SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE SUDS

En el todo el mundo actualmente se está utilizando la palabra Sostenibilidad, este término se refiere a aprovechar todos los recursos que se pueden encontrar en el medio de forma equilibrada para satisfacer las necesidades actuales, sin comprometer y abusar de los recursos, antes, por el contrario, cuidarlos, protegerlos y preservarlos.

Por otro lado los inicios de los sistemas de drenajes se remonta desde épocas antiguas desde el año 3750 AC en Nipur India (www.pcqro.com.mx) y al día de hoy los sistemas de drenaje pluviales tienen la misma finalidad, básicamente lo que hacen es recoger la escorrentía superficial producida por la lluvia, conducirla y descargarla en puntos determinado como ríos, lagos, lagunas, mares o cuerpos de agua, sólo que estos drenajes convencionales como se pueden denominar, actualmente en algunas ciudades se encuentran obsoletos porque su capacidad es insuficiente, debido a la impermeabilización generada en las ciudades a causa de pavimentos de calles, avenidas, viviendas, edificios y fábricas, aparte las actividades desarrolladas por los humanos han provocado contaminantes en las vías que pueden ser arrastradas por las aguas pluviales, contaminando así los cuerpos de aguas receptoras, de igual forma el drenaje urbano convencional cumple con sus funciones adecuadas después de haber sido diseñado en forma óptima para cumplir los parámetros hidráulicos, sin embargo al día de hoy han surgido diseños de drenajes urbanos que tienen en cuenta objetivos adicionales que se basan en el desarrollo sostenible (Rodríguez, 2013).

De acuerdo con estas dos definiciones al integrarlas tendríamos los comúnmente llamados SUDS o sistema de drenaje urbano sostenible, que son técnicas o metodologías donde se controlan, regulan y gestionan el agua de escorrentía de las lluvias, de forma ordenada y planeada en todas las urbes y de esta forma simular el ciclo hídrico y a su vez embellecer el entorno con paisajes urbanos que promueven la flora y la fauna. Estos sistemas se han incrementado en los últimos tiempos, siendo los países en desarrollo los de menor uso, tal vez por falta de información bibliografía, o escasos recursos destinados a esta clase de infraestructura, pero de igual forma con las mismas necesidades de los países desarrollados de gestionar sus aguas y de solucionar sus problemas generados del procesamiento de las aguas lluvias.

4.2 GESTION DEL AGUA LLUVIA EN LAS CIUDADES

Actualmente en las ciudades se transporta el agua pluvial por medio de métodos convencionales donde se utilizan:

1. Redes de alcantarillado combinados que tienen en sus partes bajas plantas de tratamiento para luego ser vertidas a cuerpo de agua.
2. Canales de recolección que vierten a Ríos y mares.
3. Cunetas que también conducen las aguas a su vertimiento.

El objetivo principal de estos métodos es escurrir el agua de las vías lo más rápido posible, cabe mencionar que estos componentes se pueden encontrar en ciudades organizadas, ya que en otras ciudades que no han contado con planificación, estos elementos no existen, o no hay una red pluvial completa y optima.

De la misma forma estos sistemas convencionales con lluvias muy intensas colapsan todo el sistema de alcantarillado, como se observa en la figura 1, donde tal vez su vida útil ha llegado su fin. Por otro lado, se producen inundaciones que producen pérdidas económicas para la población como se observa en la figura 2.



Figura 1. Manjole Rebosado



Figura 2. Inundación en guachaca (Fuente wradio.com.co)

4.3 SUDS COMO ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA GESTIÓN DEL AGUA LLUVIA.

Los SUDS permiten manejar las aguas lluvias o de escorrentía de forma integral con el urbanismo, con la vegetación, con el medio ambiente, con los habitantes, se puede manejar el transporte de las aguas de forma distribuida en las ciudades, puede ser descentralizada no concentrar grandes volúmenes en un solo punto de descarga, y se puede aprovechar al máximo el caudal de escorrentía. Es por lo que se puede decir que las principales metas del SUDS son:

- Equilibrar el ciclo del agua en las principales zonas urbanas y con ello los beneficios que producen el buen funcionamiento del ciclo urbano.
- Integrar todos los componentes posibles en el manejo de las aguas lluvias
- Reducir los caudales altos en las lluvias pico, mediante almacenamientos temporales e implementando zonas permeables en la ciudad.
- Reducir al máximo los impactos producidos por las lluvias, como pueden ser inundaciones, daños a las viviendas o los mismos habitantes.
- Proteger los ríos o cuerpos de aguas de contaminantes difusos.
- Mejorar la operatividad a los actuales alcantarillados sanitarios de la ciudad que aún no cuentan con un alcantarillado pluvial en su totalidad.
- Utilizarse como recargas a los acuíferos.
- Embellecer a las ciudades mediante jardines, o lagos que pueden ser visibles en parques o separadores de la vía.

Desde el punto de vista del drenaje sostenible es fundamental considerar equilibradamente los aspectos relacionados con: Cantidad de agua, calidad y servicio (Rodríguez et al, 2005). Estos componentes unidos generan una buena gestión de la escorrentía y tienden en lo posible a simular el ciclo hídrico natural del agua, en general se busca controlar la escorrentía superficial en el sitio de origen o fuente, para transportarla y disponerla hacia los afluentes con el mínimo impacto a las personas y a el medio ambiente.

De igual forma es importante que al momento de planear los diseños y la construcción de los SUDS, se tenga en cuenta la evaluación económica y a su vez los beneficios que brinda la utilización de estos y de acuerdo con esto seleccionar el mejor tipo de sistema sostenible de drenaje urbano.

4.4 TIPOLOGIA DE LOS SUDS

Existen diferentes autores que han escrito sobre la tipología de los SUDS y ellos a su vez tienen en cuenta varios criterios de las distintas prácticas lo que hace que difieran en su clasificación y no sean homogéneas, pero al final los objetivos son los mismos, a continuación, se describe la tipología según Abellán (s.f.).

Los SUDS se dividen inicialmente como se ilustra en la figura 3.

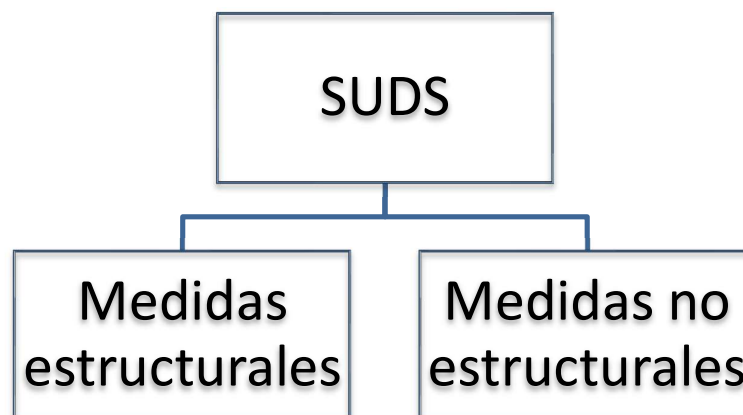


Figura 3. TIPOLOGÍA DE LOS SUDS., (A partir de datos de www.sudsostenible.com/)

Las medidas no estructurales en los SUDS son aquellos en las que no se ejecuta ningún tipo de estructuras y se pueden encontrar las siguientes medidas:

- Medidas intangibles, como las campañas de concientización ciudadana donde se le enseña a la población el debido uso del agua, el ciclo hídrico, el cuidado ambiental, el no arrojar basuras y contaminantes a las calles, evitar el uso de aerosoles y herbicidas
- Limpiezas o mantenimiento: son medidas tomadas sobre las estructuras de recolección de aguas lluvias o de almacenamiento de agua lluvias.
- Recoger y reutilizar el agua lluvia: Una medida de gestionar el agua, en viviendas o grandes superficies donde estas aguas pueden ser aprovechadas como riegos o como descargas de sanitarios.

Por otro lado, se encuentran las medidas Estructurales en los SUDS, las cuales son todas aquellas medidas que requieren de la intervención constructiva y en la que se puedan adoptar enfoques urbanísticos, estas a su vez son divididas de acuerdo con criterios empleados por distintos autores, por ejemplo, Abellán (s.f.) divide en técnicas de: infiltración, de filtración, medidas que usan vegetación y medidas de detención y retención.:

Según el grupo de investigación de tecnología de la construcción de la escuela de caminos, canales y puerto Santander de la universidad de Cantabria los SUDS se dividen en: Medidas Preventivas, Sistemas de infiltración, Sistemas de captación y transporte y en sistema de tratamiento pasivos y estas a su vez se subdividen en las diferentes técnicas (Rodríguez, et al., 2005)

De acuerdo con la asociación de información y reserve de la industria y la construcción (CIRIA) en el manual SUDS. En Reino unido presenta una clasificación de acuerdo con el tratamiento de la esorrentía en el drenaje urbano, mediante elementos de retención, humedales, infiltración, filtración, detención, canales y control de origen (Rodríguez, 2013).

Manual de desarrollo de bajo impacto de Michigan plantea la división en prácticas no estructurales y practicas estructurales y estas a su vez en volumen de esorrentía/filtración, volumen de esorrentía/ sin infiltración, calidad de esorrentía, restructuración. (Rodríguez, 2013).

Aunque los autores tienen distintas formas de dividir las técnicas, finalmente son las mismas metodologías o practicas utilizadas, a continuación, se describen algunas de ellas:

4.4.1 POZOS Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN:

Es una estructura generalmente con forma cuadrada o rectangular, rellena con material granular, algunos autores recomiendan la utilización de geotextiles, en esta estructura se debe tener en cuenta los desagües de emergencia por si la capacidad de infiltración es saturada.

Estas estructuras actúan disminuyendo la cantidad de agua escurrida del área intervenida y facilita la recarga del acuífero, además puede ser utilizada como control de calidad, también recomiendan que la capacidad de infiltración se superior a 12mm/h (Abellán, s.f.)

Esta tipología es recomendable para áreas pequeñas, donde sus aguas lluvias de escorrentía provengan de techos, parqueaderos, zonas residencias, no se aconsejan construir las en áreas donde se encuentren agregados o materiales desechados de obra porque pueden dañar los filtros, se pueden trabajar en zonas verdes dando de esta forma una visualización estética que embellece el entorno.

4.4.2 DEPÓSITOS:

Son estructuras donde se puede almacenar las aguas lluvias, y el proceder de estas puede ser la infiltración al suelo por medio de varios métodos, o controlar los picos de volumen en la precipitación, entre los depósitos encontramos los siguientes métodos:

Deposito enterrado de Detención: Son estructuras subterráneas, que controlan los volúmenes de agua lluvias almacenándolas en estos depósitos y luego vertiéndolas. Estas estructuras pueden ser en concreto reforzado o prefabricadas.

Depósito de detención superficial: Son depósitos que generalmente su almacenamiento es temporal en los picos de escorrentía, evitando inundaciones aguas abajo, también son llamados depósitos secos. (Abellán, s.f.)

Se pueden construir en lugares de recreación, zonas deportivas, áreas que en la actualidad no tienen ningún uso, como se puede observar en la figura 4 y permite embellecer el entorno.

Se recomienda un área drenante entre 4 y 30 hectáreas, con una pendiente inferior del 15%,

la diferencia de cotas de entrada salida debe ser de 1,5m y el suelo debe ser impermeabilizado.



Figura 4. Depósito superficial de detención (Fuente www.sudsostenible.com/).

Depósito de infiltración: Son almacenamientos en depresiones o embalses poco profundos de aproximada entre 1 y 3 metros, su función es la de almacenar e infiltrar la escorrentía de aguas lluvias (Rodríguez, 2013), reduciendo de esta forma los volúmenes de escorrentía, también se controla los contaminantes y al infiltrar el agua recarga de los acuíferos.

Estas estructuras no deben ubicarse en terrenos inestables, recomiendan colocar un sistema de pretratamiento antes de que las aguas sean infiltradas que disminuya los sólidos en suspensión para evitar retardos en la infiltración, para que esta técnica opere de forma óptima también recomienda que el área drenante sea inferior a 10 hectáreas, y su ocupación en planta sea entre un 2 y un 3 por ciento de dicha área. No han de instalarse en lugares con pendientes superiores al 15% y el fondo debe mantenerse de forma horizontal. La diferencia de cotas entre la entrada y de la salida ha de estar en promedio a los 90 cm. El nivel freático a de estar a más de 1,2 m de profundidad. Y el suelo a de ser muy permeable, con una capacidad de infiltración superior a los 12 mm/hora (Fuentes, 2015).

Estos depósitos de infiltración se pueden en construir en materiales como polietileno o en concreto y estos a su vez pueden ser prefabricados, como se observa en a figura 5.



Figura5. Estructura prefabrica para infiltración, (Fuente: www.precastdrainage.co.uk)

4.4.3 ESTANQUE DE RETENCIÓN:

Son disposiciones de aguas lluvias en forma de lagunas artificiales de gran área que siempre tiene un gran volumen de agua, producto de la escorrentía, como efecto de esto se desarrolla Flora y fauna en estos lugares, esta técnica ayuda a disminuir las inundaciones provocadas durante las tormentas y principalmente a eliminar contaminantes ya sea por sedimentación o por procesos de biodegradación causada por la vegetación y microorganismos del mismo lugar (Abellán, s.f).

Pueden también ser utilizados como zonas paisajísticas o para uso recreativos, las recomendaciones es que su profundidad pueda estar entre 1,5 y 2 m, y que se dimensione con la premisa de que se garantice de 2 a 3 semanas de retención del agua lluvia depositadas en estos sistemas, además se debe tener en cuenta que las aguas contaminadas no deben llegar a las zonas de acuíferos y si se hace en lugares cercanos a este impermeabilizar el suelo, como se observa en la figura 6.



Figura 6. Impermeabilización del estanque, (Fuente: www.aristegui.info/)

Según Abellán (s.f) los Estanques se subdividen en las siguientes categorías:

- Estanques de retención.
- Estanque de retención extendido.
- Micro estanque de retención.

4.4.4 CUBIERTAS VERDES:

Conocida también por nombres como techos verdes cubiertas vegetadas o green root, es un método estructural que consiste en la colocación de varias capas que se ponen sobre áreas superficiales como techos, cubiertas, terrazas y que permite el crecimiento de la vegetación, como se puede observar en la figura 7.



Figura 7. Cubiertas con la metodología de techos verdes, (Fuente: www.archdaily.com)

Por medio de este método se puede retener agua y además se puede utilizar como capas aisladoras para las edificaciones y también de tipo paisajístico, como reductores de contaminación producido por el dióxido de carbono, estas estructuras almacenan un porcentaje del agua lluvia de acuerdo con su capacidad de retención que luego son evaporadas o vertidas a la vía.

Una Cubierta verde puede reducir hasta el 60% de la escorrentía y hasta un 85% de la evacuación de agua durante las dos primeras horas de lluvia intensa (Rodríguez, 2013).

De acuerdo con la cubierta y al espesor de la capa del suelo se pueden definir varias tipologías como son:

Cubiertas verdes extensivas: Su suelo es superficial con profundidades de 8 a 15 cm, la vegetación a utilizar puede ser musgos, aromáticas y césped los cuales no necesite mantenimiento y el riego se realiza de acuerdo a donde se instale.

Cubierta verde intensiva: Su capa de suelo es más profunda que la extensiva, se pueden sembrar plantas ornamentales o arbustos medianos, es necesario regadío y es importante tener en cuenta el peso de la siembra para analizar estructuralmente las cargas de la cubierta.

Cubierta verde semintensiva: Se combinan características de la extensiva y la intensiva, el espesor del suelo está entre 15 y 30 cm.

Cubierta verde extensiva urbanscape: Es un sistema nuevo, que retiene abundante agua, es muy agradable su paisajismo y se puede utilizar en cualquier clase de cubierta después que cumpla con la resistencia adecuada del peso de la estructura.

Estas cubiertas como se dijo inicialmente están elaboradas por varias capas que se definen a continuación y se evidencian en la figura 8.

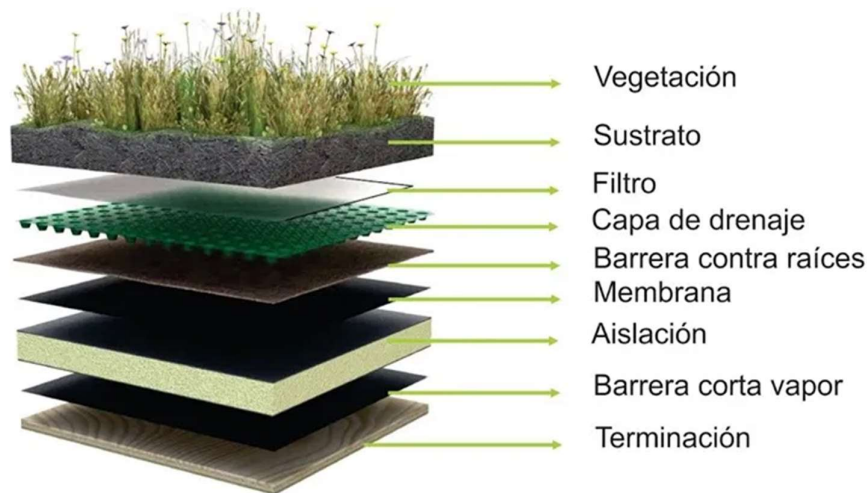


Figura 8. Estructura de las capas de las cubiertas verdes (Fuente: www.sudsostenible.com/).

Iniciando desde la base de forma ascendente se tiene las siguientes capas.

- Terminación: Que es la cubierta, la cual debe ser diseñada calculando los pesos de la cubierta verde, lo ideal es que su pendiente sea mínimo de 2%.
- Barrera contra vapor: Es la capa que ofrece resistencia al vapor de agua y así se evita la condensación de agua en la cubierta.
- Aislación: un aislador que puede ser de varios materiales y que garantiza la separación del agua de las capas de abajo como es la cubierta.
- Membrana: Es una capa que permiten sellar completamente el sistema y garantizar la impermeabilidad.
- Barrera de raíces: Es una capa que puede ser biocida o polietileno y que impedirá que las raíces pasen a la membrana, reduciendo de esta forma el daño en la capa posterior a ella.
- Capa de drenaje: En esta capa el agua se acumula y cuando se satura pasa al drenaje y se

puede construir de materiales como arenas gravas o elementos modulares laminares.

- Filtro: Es una capa en la que pueden ser utilizado dos geotextiles y permite que el agua pase a la capa de drenaje y no deje pasar sembrado, también es utilizado para minimizar las erosiones en la capa vegetal.
- El sustrato: es una capa de tierra fértil que garantiza el crecimiento de las plantas o vegetación a sembrar.
- Capa de vegetación: Son las plantas que pueden ser plantadas por semillas o por colonización natural.

4.4.5 PAVIMENTOS PERMEABLES:

Es un método estructural el cual lo conforma inicialmente una superficie permeable, el cual permitirá el paso del agua la cual se infiltra en el terreno o se almacena para luego reutilizarla o verterla al sistema de drenaje urbano.

La infiltración en el suelo como siempre estará relacionada a la tasa de infiltración del suelo, y es indispensable tener mucho cuidado en la compactación del suelo para no modificar la capacidad de infiltración. (Rodríguez, 2013).

Estas estructuras son sugeridas para zonas donde el tráfico no sea de vehículos pesados, se puede realizar en parqueaderos, en zonas de recreación, calles residenciales y de tráfico medio, así como se puede observar en la Figura No 9. También deben evitarse en lugares de clima cálido porque se pueden derretirse y destruir los poros de la superficie. (Rodríguez, 2013)



Figura 9. alamedas peatonales permeables en Panamá, (tomado de <https://www.360enconcreto.com>)

Las superficies Permeables se componen de varias capas como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Estructura de las capas para e método de superficies ó pavimentos permeables (Fuente Rodríguez. 2013).

Capa	Material	Función
Superficies permeables	césped o grava con refuerzo Adoquines Ranurados Bloques Porosos Mezclas Porosas Concepto Poroso	La superficie permeable permite el paso del agua a través de la estructura. Funciona como primer filtro del agua lluvia y actúa como soporte estructural
Base	Granular	Funciona como soporte para el pavimento. Mejora la calidad del agua lluvia mediante filtración y actividades biológicas
Subbase	Granular Estructuras de plástico Geo sintéticos	Actúa como soporte estructural resistiendo las cargas del tráfico. Es el encargado del almacenamiento o transporte de la escorrentía en sus poros.
Geotextil	Geosintetico	El geotextil tiene como función principal

Terreno natural	Suelo Impermeable Suelo Permeable	<p>I la filtración de la escorrentía. Se ubica generalmente entre la base y la sub base y sobre la sub base y el terreno natural. En este último proporciona refuerzo estructural al sistema. La escorrentía es dirigida hacia la estructura aguas abajo del sistema de drenaje pluvial. La escorrentía es infiltrada en el suelo bajo la estructura</p>
-----------------	--------------------------------------	--

Para la construcción de las estructuras de superficies permeables se debe tener en cuenta:

- Superficie bien nivelada 0% pendientes, para evitar estancamientos de agua.
- El tiempo de evacuación no debe ser superior a 72 horas.
- Para una buena distribución se recomienda utilizar tuberías perforadas debajo de la estructura.
- Las subbases pueden estar constituida por agregado limpio con profundidades entre 0,2 y 0,9 s, clasificación uniforme y con un porcentaje de vacíos alrededor del 40%. (Rodríguez, 2013).

4.4.6 ÁREAS DE BIORRETENCIÓN:

Es una técnica consiste en una depresión en el suelo con un proceso de filtración donde se encuentra un suelo permeable seguido por un filtro orgánico y un dren colector de arena o gravilla. Son diseñadas para el control de calidad. Lo ideal es colocar vegetación con el fin de eliminar o disminuir la contaminación en las aguas lluvias que lleguen a estas áreas.

El mecanismo de los componentes de esta tipología hace esta estructura muy confiable para reducir o eliminar totalmente los contaminantes. Actuando en los procesos de la siguiente forma:

Primero se reduce la escorrentía por medio de las franjas filtrantes, luego se facilita la infiltración evaporación y sedimentación mediante la zona de detección, el mulch ayuda al crecimiento de microorganismos y finalmente la vegetación elimina contaminantes y ayuda la estabilización del suelo. A continuación, se definen los principales componentes según Abellán, (2014) y también se puede ver en la Figuras 10 y 11

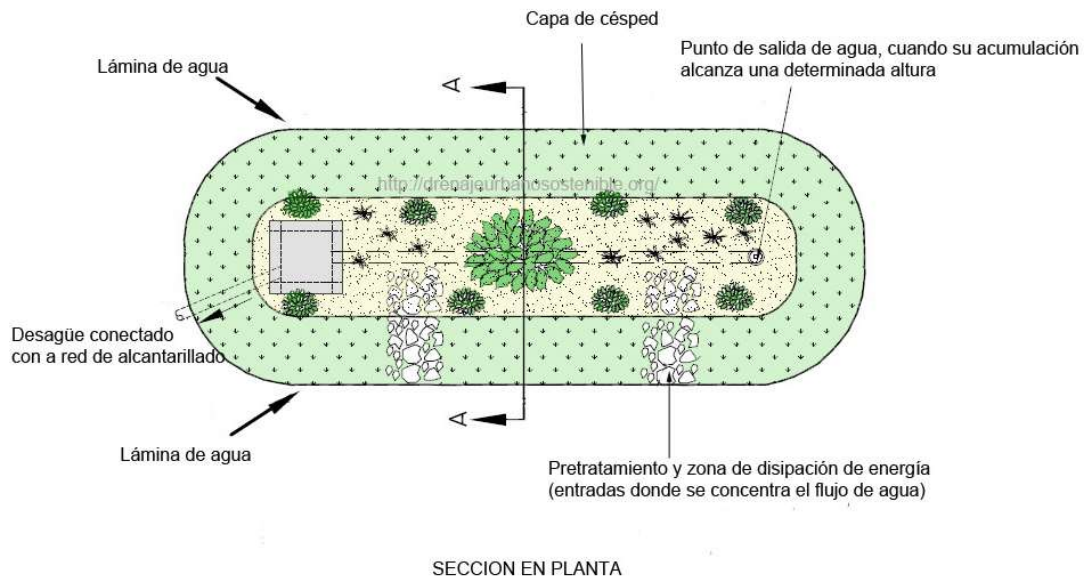


Figura 10. Sección en planta de un sistema de Área de Bioretención, (Fuente de www.suddostenible.com)

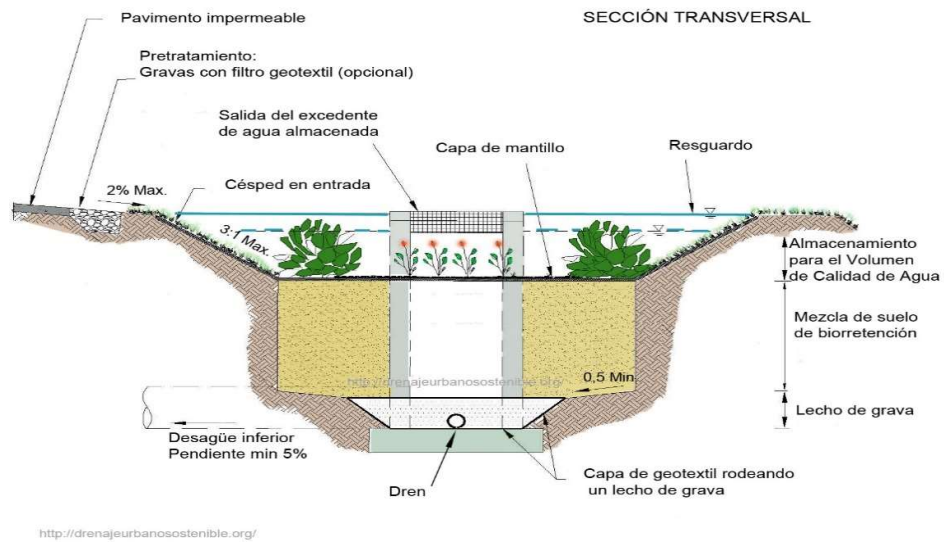


Figura 11. Corte del sistema de área de Bioretención, (Fuente www.suddostenible.com)

El pretratamiento: El cual puede ser opcional, es el área donde empieza la estructura y sirve para protección del sistema teniendo como finalidad reducir los sedimentos y contaminantes.

Entrada de Escorrentía: Depende del uso del suelo, es recomendable realizarlo sobre hierba o grava reduciendo la velocidad de la escorrentía, disminuyendo de esta forma las erosiones.

Área de acumulación o encharcamiento: Como lo dice su nombre es la zona se concentra el agua de la escorrentía, aquí el agua se infiltra, evapora, evapotranspira. El calado de esta área dependerá de la mezcla de suelo de biorretención que hay debajo, a condiciones estéticas, de funcionalidad y seguridad. Los calados se limitan a un rango de 15 a 45 cm para reducir la carga hidráulica de los suelos subyacentes, minimizar el tipo de drenaje y evitar el estancamiento del agua por un tiempo prolongado. (Abellán, 2014). Hay que evitar en lo posible los malos olores, mosquitos entre otros producidos por el encharcamiento.

Capa de Mantillo: Es la capa que contiene astillas de cortezas de árbol triturada, restos de poda triturada, debe tenerse cuidado de no incluir en esta capa malezas o cualquier otro material que pueda impedir la infiltración.

Mezcla de suelo para la Biorretención: Debe ser uniforme, debe ser un suelo favorable para la vegetación y lleno de nutrientes, actúa como filtro para drenar las aguas a la capa inferior, las partículas que componen sirven como retenedor de contaminantes que ayudan a que no pasen al interior del suelo.

Se debe evitar que los componentes de la mezcla superen un tamaño superior a 5cm, Abellán (2014) sugiere que los porcentajes aproximados de los materiales a contener son en arenas es del 80%, y del 20% la materia orgánica (compostaje) y partículas arenosas y margas. El contenido en arcillas ha de ser inferior al 6%. El pH ha de estar entre el 5,5 a 7, y la permeabilidad entre 2,5 y 10 cm/hora.

VEGETACIONES: Es la parte de la plantación, donde se debe tener en cuenta el clima y lugar donde se realiza esta estructura para poder escoger las plantas indicadas para sembrar en este lugar y que a la vez sirvan como absorbentes a los contaminantes.

LECHO DE ARENA O GRAVA CON DREN: Este una parte de la estructura que es opcional y consiste en una cama de arena o grava que permite un buen drenaje, además se incluye un tubo perforado llamado dren dentro de este lecho de grava y cuya función es recoger las aguas en la parte inferior de la estructura producto del exceso de infiltración y se traslapa a la salida este mismo.

ALMACENAMIENTO EN GRAVAS: Este componente es opcional, y consiste en una parta

adicional de gravas en la que se puede retener más volumen de agua.

PUNTO DE SALIDA POR DESBORDAMIENTO: Es la parte de la estructura por donde sale el agua, esto cuando hay exceso del volumen del agua, estas aguas son vertidas a la vía, a plantas de tratamiento o al alcantarillado pluvial.

CONSTRUCCIÓN DE UN ÁREA DE BIORETENSIÓN: Es preferible su construcción al finalizar las demás estructuras de la zona esto con el fin de no encontrar escombros que puedan interferir en la operación de estos sistemas, a continuación.

NORMATIVIDAD Y POLITICAS PUBLICAS

Para poder desarrollar en las ciudades del mundo estas metodologías de los SUDS que ayuden a gestionar de forma integral el agua faltan desarrollar más políticas públicas y legislaciones nacionales en cada país para apoyar y respaldar estas técnicas. A continuación, se presentan la de algunos partes como son: Europa, España y Colombia.

Normatividad Europea: Hace referencia a las nociones básicas sobre cómo gestionar todas las aguas para mejorar toda la calidad de estas. (Llopis,2014) encontrándose en el DMA 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de las políticas del agua. También se encuentra la DMA 2006/118/CE relativa la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. (Rodríguez y Abellán, s.f.), estas dos directivas establecen un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política del agua para mantener el buen estado de las masas de las aguas superficiales y subterránea de los estados miembros.

Normativa Española: Se encuentra en el Real decreto 314/2006 que son las Recomendaciones sobre instalaciones para reutilización de aguas lluvias (Llopis,2014). También son encontrados Real decreto 233/2013 de 5 de abril en la que se regula el plan estatal de fomento de alquiler de vivienda, la rehabilitación edificatoria y la regeneración y renovación urbanas (Rodríguez y Abellán, s.f.). Se encuentran otras normas en las que hacen referencia a temas hidráulicos como manejo de aguas, inundaciones entre otras, pero a nivel nacional de España no hay norma pertinente (Rodríguez y Abellán, s.f.) lo mismo sucede con la normatividad europea, por otro lado, si hay recomendaciones acerca del uso de los

SUDS como es el libro verde de ambiente urbano (Comité de expertos en sequia del MMA.2007), adicional se encuentran guías de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas urbanos de drenaje sostenible (Ministerio para la transición ecológica, 2017). Por otro lado, en la normatividad gallega si es mencionada las técnicas de drenaje urbano sostenible (Rodríguez y Abellán, s.f.) de igual forma Andrés, (2018) en una entrevista iagua dice que Muchas ciudades importantes (Madrid, Barcelona, Sevilla, Valencia) están incorporando a su normativa local, con distintos grados de énfasis, el empleo de SUDS en soluciones urbanas de drenaje.

Normatividad Colombiana: A nivel nacional de Colombia se utiliza la resolución 0330 del 2017 expedida por el ministerio de vivienda ciudad y territorio con el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico y el titulo D del manual de buenas prácticas RAS del 2016, pero no existe en estos artículo que se dedique explícitamente a la utilización de los SUDS, pero a nivel territorial los departamentos y municipios han empezado a incluirlos en los planes de ordenamiento territorial sus objetivos de gestión de las aguas pluviales mediante los SUDS, como por ejemplo los municipios de Bogotá con el documento técnico Sistema urbanos de drenaje sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal Norte, Barranquilla plan de ordenamiento territorial del distrito especial, industrial y portuario de Barranquilla 2012-2032, Santa Marta POT 500 entre otros.

5 APLICACIÓN

Como aplicación a la revisión bibliografía de SUDS que se presenta en este trabajo, se escoge un área cuyo uso es de servicio público y en él se encuentran una bodega de equipos y materiales, edificación de oficinas, tanque de almacenamiento con su respectiva estación elevadora y una cafetería, se escoge esta zona con el fin de plantar una solución para controlar los volúmenes de aguas lluvias, reduciendo el caudal de escorrentía.

UBICACIÓN:

El área de aplicación se encuentra en la ciudad de Santa Marta, Colombia, con latitud $11^{\circ}11'12.18''N$ y longitud $74^{\circ}13'4.94''O$, como se observa en la figura 12.



Figura 12. Área de estudio

ASPECTOS TÉCNICOS

Tipo de suelo:

En un estudio de suelo realizado por la ESSMAR E.S.P, 2019, se evidenció en dos sondeos, que la conformación del suelo en el área de estudio es 50 cm de relleno antrópico de consistencia compactada y de 50 cm a 450 cm limo arenoso y para el sondeo 1 se encontró una humedad de 10.58% y para el segundo sondeo, humedad de 7%. El informe también dice que no se evidenció nivel freático y presencia de humedad después de 1m de profundidad, como se evidencia en la figura 13 y 14.

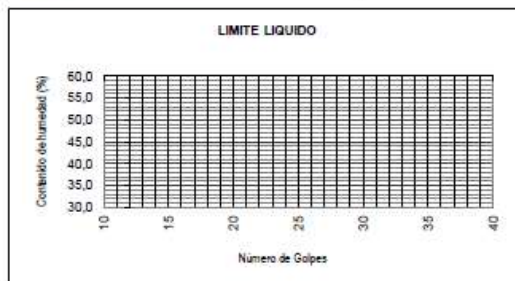
CLASIFICACIÓN, GRANULOMETRIA Y LIMITES

PROYECTO:	CONSTRUCCION PTAP GAIRA	SONDEO N°	1, muestra 1
LOCALIZACION:	GAIRA, SANTA MARTA D.T.C.H	PROFUNDIDAD:	0,5 A 4,5 METROS
DESCRIPCION:	LIMO ARENOSO COLOR MARRON	F DE CAMPO:	AGOSTO 15 DE 2019
		ENSAYO:	AGOSTO 16 DE 2019

LIMITES DE CONSISTENCIA				
LIMITE LIQUIDO				
N _o de Golpes	0	0	0	0
Recipiente N _o				
P1				
P2				
P3				
% Humedad	0,00	0,00	0,00	0,00

HUMEDAD NATURAL				
Recipiente N _o	P1	P2	P3	
A	33,1	31,1	12,20	
ω natural (%)				10,58

LIMITE PLASTICO				
Recipiente N _o				
P1				
P2				
P3				
% Humedad	0,00	0,00		



GRADACION				
P1 gm	351,0	% Retenido	% Acumulado	% Pese
Tamiz	Peso Retenido			
2,1/2"	-	0,00		100,00
2"	-		0,00	100,00
1,1/2"	-		0,00	100,00
1"	-		0,00	100,00
3/4"	-		0,00	100,00
1/2"	-		0,00	100,00
3/8"	-		0,00	100,00
No.4	-		0,00	100,00
10	66,0	18,80	18,80	81,20
40	31,0	8,83	27,64	72,36
200	66,0	18,80	46,44	53,56
FONDO	188,0	53,56	100,00	

RESULTADOS	
Límite Líquido	0,00 %
Límite Plástico	0,00 %
Índice Plástico	0,00 %
Gravas	0,0%
Arenas	46,4%
Finos	53,6%
A.A.S.H.T.O.	A - 4
Índice de Grupo	0
U.S.C	ML
Cu =	7,24
Cc =	1,24

Gustavo Simanca G.
GUSTAVO SIMANCA G.
Reg. N° 1990108
Laboratorista

Ricardo Alonso Ortiz Zuluaga
RICARDO ALONSO ORTIZ ZULUAGA
MATRICULA 192021-04594
Jefe de Laboratorio

OBSERVACIONES

HUMEDAD NATURAL (%) : 10,58

Figura 13. Estudio de suelo sondeos 1 (Fuente Empresa de servicios públicos de Santa Marta E.S.P, 2019.)

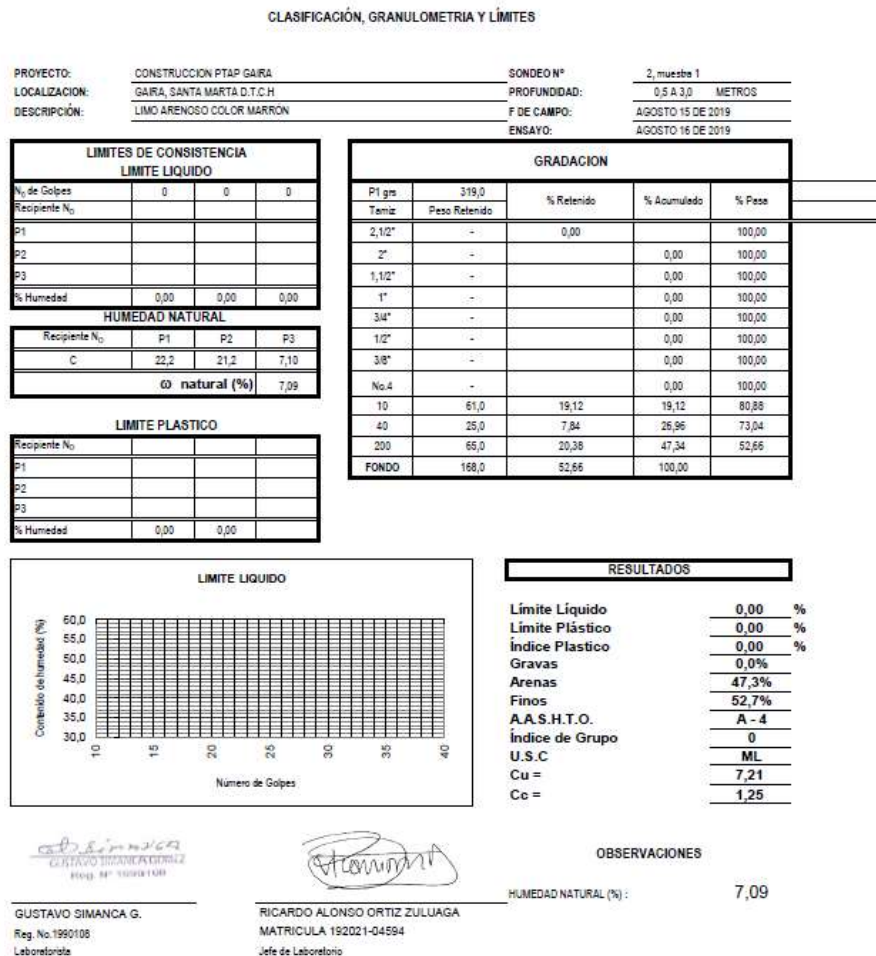


Figura 14. Estudio de suelo sondeos 2 (Fuente Empresa de servicios públicos de Santa Marta E.S.P, 2019.)

De acuerdo con el tipo de suelo se toma un valor estimado de K coeficiente de permeabilidad de acuerdo con la siguiente Figura 15.



Figura 15. Coeficiente de permeabilidad K (Fuente de Codolá,2015)

Se escoge 5×10^{-5} m/s para el valor de K para un suelo limo arenoso.

TAMAÑO DE LA CUENCA:

Se escoge como tamaño de la cuenca toda el área que comprende la zona de estudio, esta cuenta con $20.633,47 \text{ m}^2$ y para drenar sus aguas actualmente cuenta con un pequeño canal improvisado que no alcanza a desaguar en corto tiempo, provocando aguas estancadas como se observa en la Figura 16 y cuando las precipitaciones son muy fuertes estas zonas son de gran inundación.



Figura 16. Área con aguas estancadas

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

Se obtiene el siguiente plano topografía que se puede observar en la figura 17, con el cual se pudo establecer los puntos donde se establecerán los SUDS.



Figura 17. Topografía de la cuenca (Suministrado por la Empresa ESSMAR E.S.P,2021)

ANALISIS HIDROLOGICO

CURVAS IDF

Para proceder con el análisis y diseño de SUDS para esta zona, se obtuvo mediante la página del IDEAM la curva IDF de la estación Universidad Tecnológica Magdalena (Santa Marta), código 15015004. La cual se puede observar la figura 18.

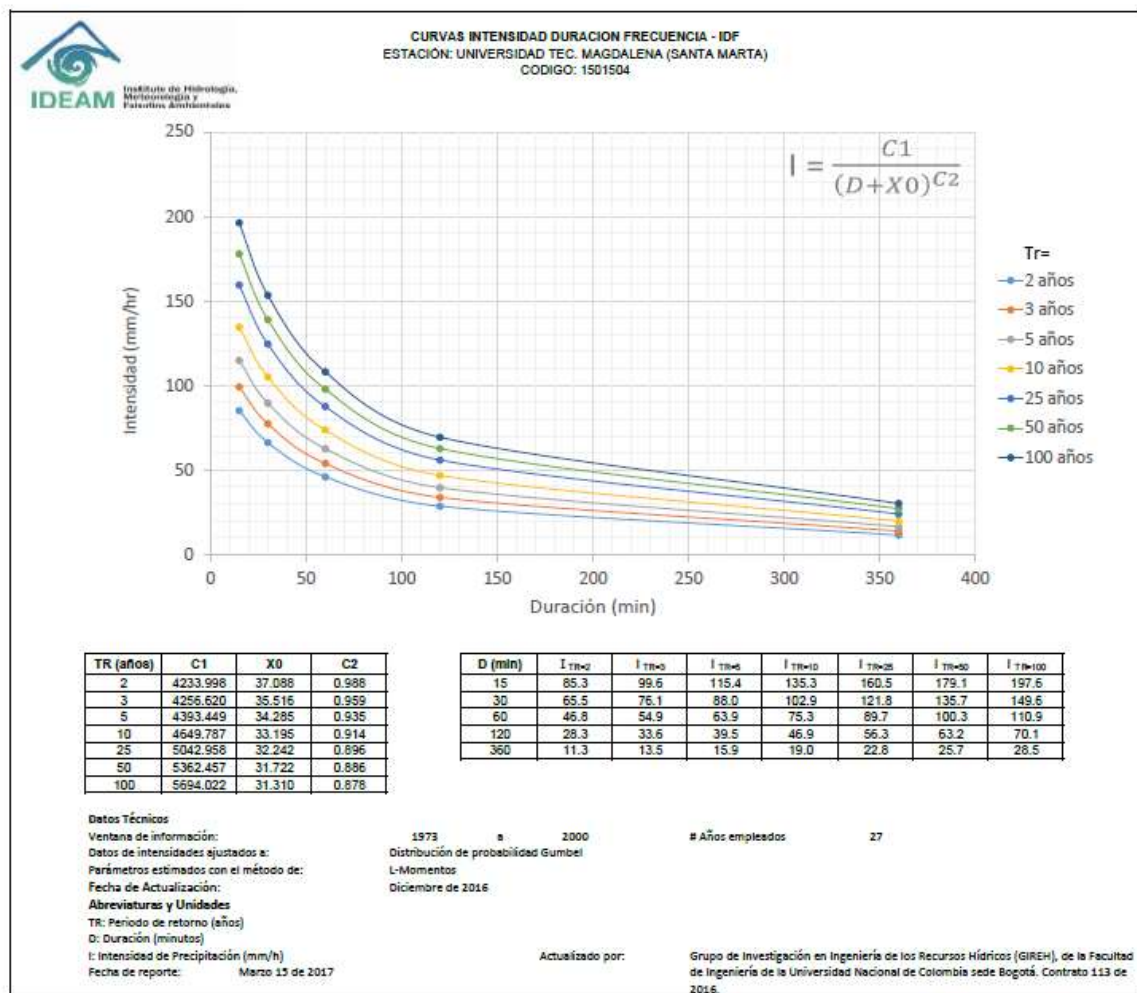


Figura 18 Curva IDF Universidad Tecnológica Magdalena (Fuente de www.Ideam.gov.co)

Partiendo de esta curva y de la ecuación se tomó como tiempo de retorno 5 años y se obtuvieron los datos tiempo – precipitación los cuales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Precipitación mm/h para tiempo de retorno de 5 años (basado en datos Ideam).

TC	I (TR 5)
min	(mm/h)
10	126,93
20	104,93
30	89,58
40	78,26
50	69,54
60	62,62
70	56,99
80	52,31
90	48,36
100	44,99
110	42,07
120	39,51
130	37,26
140	35,26
150	33,46
160	31,85
170	30,39
180	29,06
190	27,85
200	26,74
210	25,71

Luego se procedió a desarrollar el hietograma por medio del método de bloque alterno para un tiempo de 3 horas y 30 minutos, con intervalos de tiempo de 10 minutos, para esto se calculó las precipitaciones para intervalo de 200 minutos, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculos de precipitaciones para 200min

1	2	3	4	5	6
Duración min	Intensidad mm/h	Lluvia acumulada (mm)	Luvia (mm)	Bloque	Intensidad mm/h
10	126,93	21,15	21,15	1	126,927
20	104,93	34,98	13,82	2	82,923
30	89,58	44,79	9,82	3	58,897
40	78,26	52,17	7,38	4	44,273
50	69,54	57,95	5,78	5	34,675
60	62,62	62,62	4,67	6	28,015
70	56,99	66,48	3,87	7	23,192
80	52,31	69,75	3,26	8	19,579
90	48,36	72,55	2,80	9	16,797
100	44,99	74,98	2,43	10	14,605
110	42,07	77,12	2,14	11	12,845
120	39,51	79,02	1,90	12	11,409
130	37,26	80,73	1,70	13	10,219
140	35,26	82,26	1,54	14	9,221
150	33,46	83,66	1,40	15	8,376
160	31,85	84,93	1,28	16	7,653
170	30,39	86,11	1,17	17	7,028
180	29,06	87,19	1,08	18	6,485
190	27,85	88,19	1,00	19	6,009
200	26,74	89,12	0,93	20	5,589

La columna 1 y 2 son tomadas de la tabla 2.

La columna 3 se calculó la lluvia acumulada o la precipitación por cada intervalo de tiempo (columna 1 x columna 2).

La columna 4 se calcula diferencial de precipitación en cada intervalo de tiempo, el cual es la diferencia entre la cantidad de precipitación caída en el intervalo determinado y el anterior (Camargo y Lozada, 2018) ($P_i - P_{i-1}$ de la columna 3).

La columna 5 se plantean los bloques.

La columna 6 se calcula intensidad, que corresponde al diferencial de precipitaciones dividido por el intervalo de 10 minutos (Se divide la columna 4 entre la columna 1).

Luego se determina por bloques las precipitaciones, hacia el centro las de mayor valor de precipitación descendiendo de forma organizada hacia la derecha y a la izquierda, quedando los valores menores de precipitación al inicio y al final del hietograma como se muestra en la tabla .4 y en la figura .19

Tabla 4. Datos para la realización del Hietograma

Tiempo (mint)	Lluvia (mm)
0:00	0,0000
0:10	1,0808
0:20	1,2754
0:30	1,5369
0:40	1,3960
0:50	1,7031
1:00	2,1409
1:10	3,2632
1:20	3,8653
1:30	5,7791
1:40	9,8162
1:50	21,1546
2:00	13,8205
2:10	7,3789
2:20	4,6691
2:30	2,7995
2:40	2,4342
2:50	1,9014
3:00	1,2754
3:10	1,0808
3:20	0,9316
3:30	0,0000

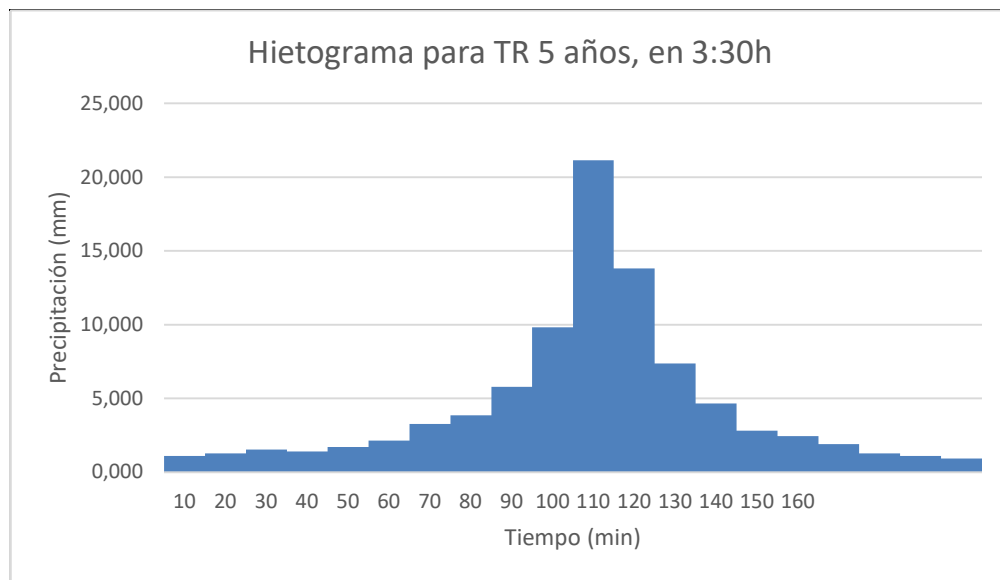


Figura No 19 Hietograma tiempo de retorno 5 años para un tiempo de 3:30 horas

Teniendo en cuenta las características anteriores, la topografía y los cálculos obtenidos se

procedió a realizar el análisis del lugar en el cual se determinaron las siguientes especificaciones:

Área total: 2 063,468 m²

Área impermeable: 1 471,69 m²

% de Área Impermeable: 7%

Cota Mayor: 6,589 m.s.n.m

Cota Menor: 4,865 m.s.n.m

Longitud: 84,76 m

Pendiente terreno: 2.03%

Ancho: 243,43m

N Impermeable: 0,011

N Permeable: 0,05

En estas especificaciones el área total corresponde al área de la cuenca, el área impermeable a la superficie en m² donde no puede pasar el agua a través del suelo, porque alguna estructura lo impide como edificios o pavimentos, las cotas mayores y menores son las visualizadas de acuerdo con la topografía, la longitud se toma como un trazado imaginario en ml por donde se escurre la mayor cantidad de agua pluvial desde la cota más alta a la más baja y el ancho se asumió como la relación ancho de la toda la cuenca y la longitud anteriormente descrita. Partiendo de los datos se procede hacer la modelación por medio del programa EPA SWMM 5.1.015.

Se introducen al programa los datos de entrada después de haber seleccionada la cuenca, como se observa en la Figura 20.

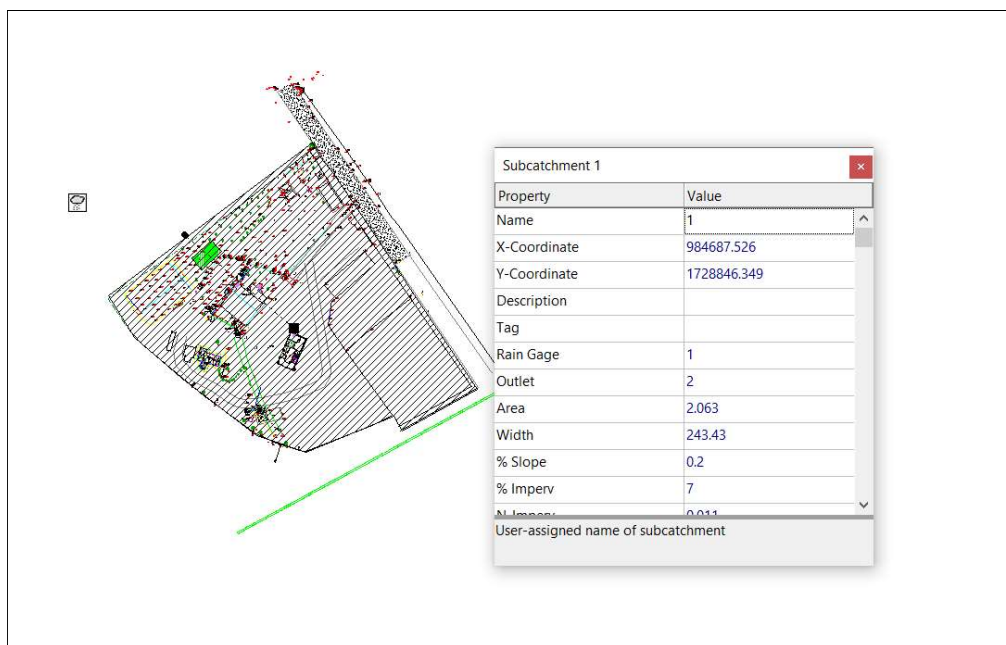


Figura 20. Introducción de datos en el programa Epanet SWMM

De igual forma se introduce el Hietograma como se evidencia en la figura 21.

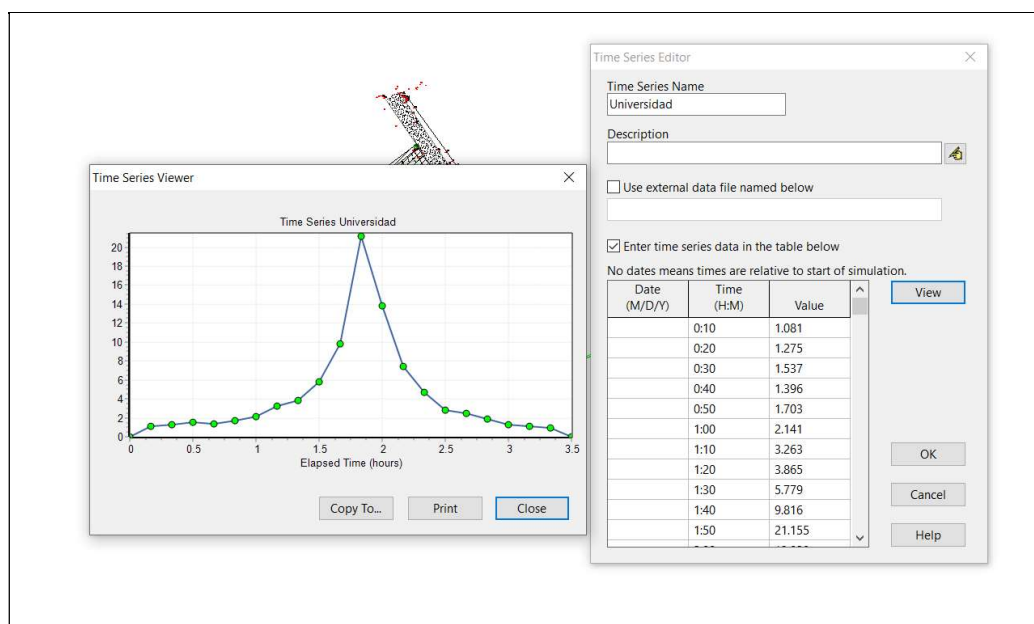


Figura 21. Introducción de Hietograma Epanet SWMM

También se adiciono el pluviómetro con los datos requeridos como se muestra en la figura 22.

Property	Value
Name	1
X-Coordinate	984564.231
Y-Coordinate	1728917.878
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:10
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	Universidad
DATA FILE:	
User-assigned name of rain gage	

Figura 22. Introducción de pluviómetro con sus datos Epanet SWMM

Y finalmente se corre el modelo, obteniendo los caudales en intervalos de 15 minutos (Tabla 5), siendo el mayor de ellos a la hora 2:15 con un caudal de 51,72 L/s.

Tabla 5. Resultados para el nudo 2 en Epanet SWMM

Table - Node 2	
Hours	Total Inflow
0:15:00	0,04
0:30:00	0,46
0:45:00	0,58
1:00:00	0,81
1:15:00	2,18
1:30:00	4,95
1:45:00	14,45
2:00:00	48,09
2:15:00	51,72
2:30:00	40,88
2:45:00	29,24
3:00:00	21,84
3:15:00	15,91
3:30:00	12
3:45:00	7,93
4:00:00	5,44
4:15:00	3,78
4:30:00	2,62
4:45:00	1,79
5:00:00	1,19
5:15:00	0,74
5:30:00	0,42
5:45:00	0,19
6:00:00	0,05

DISEÑO DE LOS SUDS

De acuerdo con los resultados obtenidos en la modelación anterior se planteó realizar un jardín de lluvia introduciendo los datos en Epanet SWMM como se muestra en la figura 23, para esto se hicieron los siguientes planteamientos:

1. El área del jardín se planteó 500 m².
2. El jardín se propuso en el punto más bajo del área.

En la tabla 6 aparecen los datos de entrada a la modelación.

Tabla 6 Datos de entrada en Epanet SWMM para jardín de lluvia

Para la superficie.	
Especificación	Unidad
Altura de la Berma mm	400 mm
Fracción del volumen de vegetación	0.99
n manning	0.15
Pendiente	1%
Suelo	
Espesor mm	500mm
Porosidad vol fracción	0.5

Los datos de capacidad de campo, punto de marchitez, al no tener los datos necesarios para sus cálculos se toma los predeterminados por el programa.

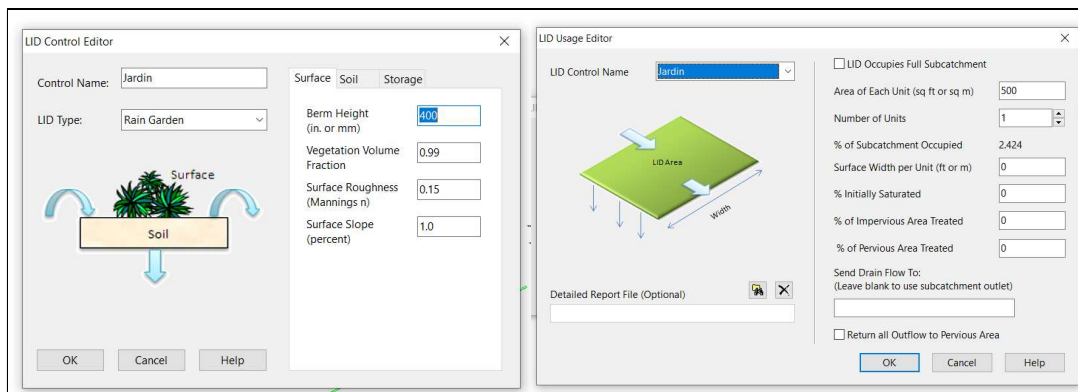


Figura 23 Introducción de datos en el programa.

Se corre el programa y los resultados después de agregar un jardín de lluvia a la modelación son los que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7 Resultados en Epanet SWMM para jardín de lluvia

Table - Node 2	
Hours	Total Inflow(LPS)
0:15:00	0,04
0:30:00	0,45
0:45:00	0,56
1:00:00	0,79
1:15:00	2,15
1:30:00	4,9
1:45:00	14,3
2:00:00	47,57
2:15:00	50,93
2:30:00	40,03
2:45:00	28,49
3:00:00	21,21
3:15:00	15,4
3:30:00	11,59
3:45:00	7,62
4:00:00	5,2
4:15:00	3,59
4:30:00	2,48
4:45:00	1,68
5:00:00	1,1
5:15:00	0,68
5:30:00	0,37
5:45:00	0,16
6:00:00	0,03

Se puede observar que al comparar las tablas 5 y 7 a las 2:15 horas la diferencia sólo es 0,79 L/s, una reducción de caudal muy baja, por lo que se plantea utilizar otros SUDS adicionales como son: techos y cunetas verdes, de igual forma se introducen los parámetros como se muestran en las figuras 24, 25, 26 y 27.

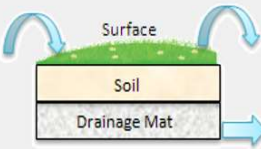
Las consideraciones contempladas para introducir los datos son:

1. Área del techo verdes un total de 506.46m², se contempla los techos de:
Almacén. 298,9 m²
Tanque: 207,56 m²
2. Área de cuneta verde para un total de 25 m².

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:



Surface Soil Drainage Mat

Berm Height (in. or mm)

Vegetation Volume Fraction

Surface Roughness (Mannings n)

Surface Slope (percent)

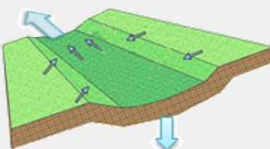
OK Cancel Help

Figura 24 Introducción de datos en el programa

LID Control Editor

Control Name:

LID Type:



Surface

Berm Height (in. or mm)

Vegetation Volume Fraction

Surface Roughness (Mannings n)

Surface Slope (percent)

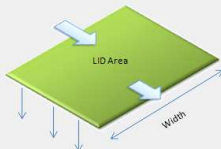
Swale Side Slope (run / rise)

OK Cancel Help

Figura 25 Introducción de datos en el programa

LID Usage Editor

LID Control Name:



☐ LID Occupies Full Subcatchment

Area of Each Unit (sq ft or sq m)

Number of Units

% of Subcatchment Occupied

Surface Width per Unit (ft or m)

% Initially Saturated

% of Impervious Area Treated

% of Pervious Area Treated

Send Drain Flow To:
(Leave blank to use subcatchment outlet)

☐ Return all Outflow to Pervious Area

Detailed Report File (Optional)

OK Cancel Help

Figura 26 Introducción de datos en el programa

Figura 27 Introducción de datos en el programa

Después de correr la modelación con los tres tipos de SUDS, se obtienen los siguientes resultados, que se pueden observar en la tabla 8.

Tabla 8 Resultados en Epanet SWMM incluyendo los SUDS de jardín de lluvia, techos y cuneta verdes

Table - Node 2		
Hours	Total Inflow(LPS)	
0:15:00	0,04	
0:30:00	0,44	
0:45:00	0,55	
1:00:00	0,78	
1:15:00	2,13	
1:30:00	4,86	
1:45:00	14,17	
2:00:00	47,04	
2:15:00	50,12	
2:30:00	39,16	
2:45:00	27,73	
3:00:00	20,57	
3:15:00	14,89	
3:30:00	11,18	
3:45:00	7,31	
4:00:00	4,97	
4:15:00	3,41	
4:30:00	2,34	
4:45:00	1,57	
5:00:00	1,02	
5:15:00	0,62	
5:30:00	0,33	
5:45:00	0,13	
6:00:00	0,02	

Comparando las tablas 5, 7 y 8 se puede observar que el caudal gestionado no es un valor representativo, de la modelación sin SUDS a la utilización de 3 tipos de SUDS la diferencia de caudal es de 1.6 L/s y de la utilización de jardín de lluvia a utilizar los tres tipos de SUDS la reducción es sólo de 0.81 L/s, a las 2:15 horas.

De igual forma se planteó la utilización de estos SUDS, analizándolo y diseñándolo con otra propuesta por Codolá (2015); para esto se manejaron datos con los que se trabajaron en el modelo de epanet como es el periodo de retorno de 5 años y la curva IDF, se escogió un coeficiente de escorrentía de 0,6 correspondiente a vías no pavimentadas y superficies con suelos compactados y se toma el valor de K escogido anteriormente de 5×10^{-5} m/s.

Para obtener los parámetros de la lluvia de diseño se utilizó el Método Racional donde se calculó el caudal con la siguiente formula:

$$Q=C \times A \times I$$

Donde

Q= Caudal m^3/s

C=Coeficiente de escorrentía de la superficie demanda.

I= Intensidad media de la precipitación (mm).

Luego se calculan los volúmenes que podrá almacenar los SUDS de la siguiente forma:

JARDIN DE LLUVIAS

Se platean los siguientes parámetros:

Área: 500 m²

Porosidad: 50%

Espesor del suelo estructural del jardín: 0,8m

Se calcula el volumen de acuerdo con la siguiente formula:

$$\text{Volumen de almacenamiento} = \text{Área del SUDS} \times \text{Espesor del suelo} \times \text{Porosidad}$$

El volumen obtenido para el Jardín de lluvias es de 200 m³

TECHOS VERDES

Los techos escogidos con su respectiva área son:

Techo de almacen: 298,9 m²

Techo del tanque: 207,56 m²

Se establecen los siguientes parámetros como se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros y volúmenes para los techos verdes

Parámetro	Cantidad
Espesor del sustrato (m)	0,1
Espesor de capa de drenaje (m)	0,08
Profundidad de encharcamiento de la superficie (m)	0,1
Porosidad del medio creciente	20%
Porosidad de la capa de drenaje	25%
Volumen del medio creciente (m ³)	10,13
Volumen de la capa de drenaje (m ³)	10,13
Volumen de encharcamiento (m ³)	50,65
Volumen total (m ³)	70,90

Los volúmenes fueron calculados de acuerdo con las siguientes formulas:

Volumen medio creciente = Superficie total x Espesor del sustrato x Porosidad del medio creciente

Volumen de la capa de drenaje = Superficie total x Espesores de la capa drenaje x Porosidad drenaje

Volumen Encharcamiento = Superficie total x Profundidad encharcamiento

CUNETAS VERDES

Se calcula el volumen estimando una porosidad del 20% y los datos que se muestran en tabla No 10.

Tabla 10 y 11 volúmenes para cunetas verdes

Parámetros y Volumen	Cantidad
Área del canal (m ²)	50
profundidad (m)	0,5
vacío %	20
Volumen total (m ³)	5

Después de haber calculado los volúmenes gestionados por medio de tres técnicas de SUDS, se suman los volúmenes obteniendo 275,90 m³. Con los datos obtenidos anteriormente se calcula el Caudal filtrado que es el producto de la permeabilidad K por el área no impermeabilizada que es 19.161,778 m², como se muestra en la tabla 11. Que es el agua que se filtra al suelo por aquellas áreas que no están construida y que aún son permeables.

Tabla 11 Calculo de caudal y volumen de infiltración

TC	I (TR 5)	C	Área	m³/s	V lluvia	Q m³/s	Vm³	Vm³	Vm³	Vm³ Rebose
min	(mm/h)		m²	Q Lluvia	m³	filtrado	filtrado	No infiltrado	Almacenado	
10,000	126,93	0,6	20633,468	0,4365	261,8954	0,9581	574,8533	0,0000	0	0
20,000	104,93			0,3608	432,9943	0,9581	574,8533	0,0000	0	0
30,000	89,58			0,3081	554,5192	0,9581	574,8533	0,0000	0	0
40,000	78,26			0,2691	645,8702	0,9581	574,8533	71,0169	71	0
50,000	69,54			0,2391	717,4164	0,9581	574,8533	142,5631	214	0
60,000	62,62			0,2153	775,2205	0,9581	574,8533	200,3671	275,9	138
70,000	56,99			0,1960	823,0731	0,9581	574,8533	248,2198	275,9044	248,2198065
80,000	52,31			0,1799	863,4712	0,9581	574,8533	288,6179	275,9044	288,6178915
90,000	48,36			0,1663	898,1292	0,9581	574,8533	323,2759	275,9044	323,275883
100,000	44,99			0,1547	928,2653	0,9581	574,8533	353,4119	275,9044	353,4119306
110,000	42,07			0,1447	954,7699	0,9581	574,8533	379,9165	275,9044	379,9165105
120,000	39,51			0,1359	978,3098	0,9581	574,8533	403,4565	275,9044	403,4564514
130,000	37,26			0,1281	999,3949	0,9581	574,8533	424,5415	275,9044	424,5415457
140,000	35,26			0,1212	1018,4219	0,9581	574,8533	443,5686	275,9044	443,5685929
150,000	33,46			0,1151	1035,7047	0,9581	574,8533	460,8513	275,9044	460,8513417
160,000	31,85			0,1095	1051,4947	0,9581	574,8533	476,6413	275,9044	476,641345
170,000	30,39			0,1045	1065,9961	0,9581	574,8533	491,1428	275,9044	491,1427991
180,000	29,06			0,0999	1079,3766	0,9581	574,8533	504,5233	275,9044	504,5233056
190,000	27,85			0,0958	1091,7751	0,9581	574,8533	516,9218	275,9044	516,9218092
200,000	26,74			0,0919	1103,3079	0,9581	574,8533	528,4545	275,9044	528,4545434
210,000	25,71			0,0884	1114,0729	0,9581	574,8533	539,2195	275,9044	539,2195455
				3,7610	18393,4793	20,1199	12071,92014	6796,71036		6520,805965

Luego de tener calculado el volumen filtrado y el volumen gestionado por SUDS, se calcula el volumen no filtrado que es la diferencia entre el volumen de lluvia y el volumen filtrado, el resultado de este es el que se almacenara en los SUDS y el volumen que no se pueda gestionar mediante de SUDS será el volumen rebosado como se muestra en la tabla No 11.

De acuerdo con esto se obtienen la tabla 12:

Tabla 12 Tabla resumen de volúmenes

Especificación	Cantidad
V lluvia m ³	18.393,48
V filtrado m ³	12.071,92
V gestión mediante SUDS m ³	275,90
V Rebose m ³	6.520,81

De acuerdo con esta tabla se puede decir que el volumen gestionado por SUDS es de 1,5%, y si se toma adicional como gestionada el volumen infiltrado en el suelo de área no impermeable es de 64,54%.

5 DISCUSIÓN

El planeta en los últimos años está sufriendo las consecuencias del cambio climático, como son los fenómenos extremos, que finalmente afecta a los humanos, animales, vegetación y al ciclo hídrico, es esta la razón por lo que la sociedad debe procurar por ser amigable y sostenible con el medio ambiente.

Esta debería ser una razón importante para la priorización de la aplicación de los SUDS, pero existen otros factores que pesan a la hora de analizar si realmente es necesario la construcción de estos métodos, ya que hay métodos convencionales que pueden resolver la problemática que se tenga, como hay otras situaciones en la que si es conveniente la utilización de SUDS y otros por su parte que es justificable la combinación o utilización de ambas metodologías.

Aunque si se investiga estos sistemas desde que se conoció inicialmente este término SUDS, se puede decir que su divulgación y aplicación ha sido lenta, con mayores pasos en los últimos años y en algunos sectores del mundo más que en otros, esto tal vez también ha ido de la mano con el desarrollo de cada ciudad, de cada país y por qué no decirlo de cada

continente y finalmente con la globalización.

En este trabajo, se plantean dos maneras distintas de diseño para la aplicación de tres tipologías de SUDS en un área industrial, de los resultados obtenidos se puede decir que:

1. Al analizar los resultados de la tabla 6 y 8 producto de la modelación en EPANET SWMM se observa que la reducción del caudal de escorrentía de la lluvia en la hora 2:15 es de 1.6 L/s, si se asumiera que es un caudal constante durante 3,5 horas esto sería un volumen de 20,16 m³, lo cual es valor muy bajo para un área de 2 hectáreas, no obstante, el tamaño pequeño del área puede incidir en que las técnicas utilizadas de SUDS no sean adecuadas para solucionar la problemática de esta zona y tal vez métodos convencionales como canales pluviales que conduzcan las aguas a un punto de vertimiento como es el río más cercano puede ser la solución.
2. Al analizar los resultados obtenidas mediante la aplicación del método expuesto por Codolá(2015), se obtuvo que el volumen gestionado de acuerdo con la tabla 11 es del 1,5% equivalente a 275,90 m³ y si se adiciona la infiltrada por el suelo actual es de 64,54%, si se mira en porcentaje del volumen total, el gestionado por SUDS es muy bajo, pero el volumen es una gran cantidad de agua que valdría la pena realizar un estudio costo beneficio y así saber si es conveniente dicha utilización.
3. El terreno donde se hizo la aplicación tiene un suelo limo arenoso el cual tiene una baja permeabilidad, lo cual no es recomendable para plantear SUDS, y de acuerdo con esto se encuentra una limitación para la aplicación de SUDS y es que en todos los suelos no es recomendable usarlos.
4. Para plantear algunas tipologías se hace necesario contar con amplias áreas, la cual puede no ser rentable y por esto también es importante considerarlo en un análisis costo beneficio.
5. Comparando la modelación con el método propuesto por Codolá (2015), difiere en los resultados esto puede ser debido a que la entrada de datos de la modelación requiere parámetros que no son tenidos en cuenta en el segundo método mencionado, como son punto de marchitez, capacidad de campo, entre otros.
6. Otro factor importante que debe tenerse en cuenta a la hora de proponer un SUDS en el clima y el piso térmico donde se realiza, ya que hay que diferenciar las zonas donde se pueden presentar todas las estaciones, o zonas secas, áridas etc. Porque hay que escoger el SUDS óptimo para estos lugares. A hora bien hay lugar donde las

precipitaciones son muy escasas y el mantenimiento de los SUDS en estos lugares puede ser costosos y se debe tener en cuenta la utilización de agua para su mantenimiento ya sea para regar las plantas o incluso para limpiar los filtros. También es cierto que en otros casos la medida que se tomen en estos lugares áridos o de poca precipitación, así sea por un tiempo muy corto en el año pueda ser muy beneficiosa como por ejemplo una recarga de acuífero, un control de escorrentía que evita inundaciones en esas épocas del año, entre otros.

7. También es importante tener cuenta los beneficios que puede traer la utilización de estos SUDS al ambiente como son: la reducción de contaminantes que llegan a los cuerpos receptores, la recarga de los acuíferos, facilita el crecimiento de flora y fauna, reducción de los efectos de las islas de calor y también se puede utilizar como medida para enfrentar el cambio climático, estas razones también pueden tener una alta incidencia para la escogencia de utilización de los SUDS, así no se cumpla a totalidad otros objetivos como disminución de caudales picos entre otros.
8. Finalmente, y no menos importante en todo momento se debe considerar un estudio de costos beneficios que permita observar, analizar y comparar los costos reales tanto de la construcción como de su mantenimiento, con los beneficios y cumplimiento de objetivos a la hora de aplicar esta metodología.

6 CONCLUSIONES

El estudio y aplicación de los SUDS no es reciente, sino que se vienen estudiando desde la década de los 70, aunque su aplicación es mayor en los últimos años.

Los SUDS implican un cambio de cultura urbana y de urbanismo a una ciudad llevando con ellos una gama de variadas soluciones planteando todo un sistema de drenaje sostenible. Estos pueden ser utilizados como complementos de los actuales sistemas de drenaje de aguas lluvias convencionales utilizados en las ciudades, o en totalidad ser cambiado todo el sistema de drenaje de aguas lluvias por sistemas de drenaje de aguas lluvias sostenibles.

Mientras que los sistemas de drenaje convencional son diseñados principalmente para captar y transportar el agua en el instante de la precipitación algunos por tuberías y/o por calles canales, sin tener un control específico de posibles contaminantes que finalmente son llevadas a cuerpos receptores de aguas, los SUDS son diseñados para retener temporalmente

las aguas provenientes de la precipitación y para controlar las posibles contaminaciones, aunque los últimos son métodos más amigables con el medio ambiente, la utilización de los dos en conjunto puede llevar a lograr buenos objetivos y soluciones a las zonas urbanas de las actuales ciudades.

Los principales objetivos de los SUDS son:

1. Regular el ciclo del agua.
2. Evitar contaminación
3. Brindar un eficiente servicio, donde se eviten problema de inundaciones, reboses de colectores, con el fin reducir la mala operación del sistema

Se observó que los sistemas de drenaje sostenible no tienen una clasificación estandarizada, son categorizadas por cada autor, pero la división más usada es la de medidas estructurales y no estructurales, que son buenas prácticas y como su nombre lo indica depende de la utilización de infraestructura, dentro de las medidas estructurales de los SUDS se encuentran los tanques retenedores, cubiertas verdes, áreas retenedoras, jardines de lluvias, techos verdes, etc. Cada una de ellas busca solucionar o prever un problema concreto en materia de drenaje pluvial, con la condicionalidad de ser sostenibles.

Los SUDS tienen ventajas e inconvenientes como son:

Ventajas:

- Control del caudal y volumen de las aguas pluviales previniendo inundaciones
- Control de la contaminación proveniente de las vías y de las industrias.
- Previene la contaminación los cuerpos de agua receptoras.
- Regular y/o asemejar el ciclo hidrológico
- Recargar acuíferos
- Se puede reutilizar el agua para uso de baños y/o jardines
- Medida frenteras en contra el cambio climático.
- Limitar la cuña marina mediante infiltración del agua en el suelo.
- Previene la colmatación y el mal funcionamiento de las redes de alcantarillado sanitario de las ciudades donde no hay un alcantarillado pluvial definido.
- Mejoramiento y Embellecimiento de lugares.
- Afloramiento vegetal y el crecimiento de especies naturales, aumentando la

biodiversidad natural.

- Reduce la sensación de calor, aclimatando los lugares donde se utilizan los SUDS. y disminuye el efecto isla de calor
- Solucionan problemáticas donde las pendientes no son favorable para alcantarillados pluviales convencionales.

Inconvenientes:

- Algunas de la metodología de los SUDS pueden tener altos costos comparados con soluciones convencionales.
- En algunos casos los costos a largo plazo pueden ser altos
- Falta de guías de diseño y operación para la utilización en diferentes zonas climáticas
- Necesidad de un constante mantenimiento a lo largo del tiempo.
- Pocas políticas públicas en los distintos países para su utilización.
- El marco regulatorio no está definido en algunas partes del mundo para la utilización de los SUDS.
- Grandes áreas para implementar estas prácticas.
- En ocasiones los objetivos de gestionar caudal no se cumplen como se espera con valores altos, muchas veces por el tipo de suelo y otras por los tamaños de las áreas de las cuencas.
- Oponer resistencia de profesionales ante estas nuevas técnicas de drenaje.

En la aplicación de esta tecnología en la zona que se ha estudiado, se ha visto que no es muy efectiva la instalación del jardín de lluvias, los techos y las cunetas verdes ya que el caudal gestionado es muy bajo para toda el área que se contempla, pues tendría un costo muy elevado para un beneficio muy bajo. Esto puede deberse a que el suelo (limo-arenoso) se encuentra totalmente compactado y no tiene condiciones suficientes de permeabilidad; no obstante, se podría considerar la utilización de techos verdes sobre el tanque ubicado en el sector, lo que supondría una pequeña contribución al medio ambiente para enfrentar el cambio climático como empresa prestadora de servicios públicos, por estética y paisajismo con el entorno que rodea el tanque, protege la estructura del tanque alargando la vida útil de su cubierta, disminuye la temperatura del agua almacenada.

7 BIBLIOGRAFIA

- Camargo Ramírez, Lozada Chamorro (2018) Diseño de sistema urbano de drenaje sostenible en Bogotá, calle 127 con autopista, trabajo de grado de ingeniería civil en la Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Codolá Rosello (2015) SUDS: Metodología de cálculo y experiencias en áreas urbanas, Proyecto o tesina de especialista, UPC Barcelonatech.
- Empresa de servicios públicos de Santa Marta (ESSMAR E.S.P), 2019, Estudio geotécnico construcción de la PTAP de los pozos en rebombeo de Gaira, Santa Marta D.T.C.H. Proyecto “Construcción de una planta de tratamiento de agua potable de los pozos del sistema sur de la ciudad de Santa Marta, departamento del Magdalena”
- Fuentes Roldan (2015) Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles. Una Alternativa de Futuro, trabajo de grado de Fundamentos de la Arquitectura Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Sevilla
- Rodríguez Bayrón, Rodríguez Hernández, Ullate Fuente, Cato Fresno, (2005) Sistemas de drenaje sostenible SUDS, Giteco, Escuela de caminos, canales y Puertos de Santander, Universidad de Cantabria.
- Rodríguez Díaz (2013) Drenaje Urbano elementos de diseño drenaje urbano no convencional, Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garabito.
- Barranquilla plan de ordenamiento territorial del distrito especial, industrial y portuario de Barranquilla 2012
- Directiva 2000/60/CE del parlamento europeo y del consejo 23 de octubre de 2000
- Directiva 2006/118/CE del parlamento europeo y del consejo de 12 de diciembre del 2016
- Real decreto 314/2006
- Real decreto 233/2013 de 5 de abril
- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, Título D, Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias, Colombia.
- resolución 0330 del 2017 expedida por el ministerio de vivienda ciudad y territorio, Colombia
- Santa Marta POT 500
- Secretaria distrital de ambiente de la alcaldía de Bogotá (2011), Sistemas urbanos de drenaje sostenible SUDS para el plan de ordenamiento zonal norte pozn, secretaria distrital de ambiente de la alcaldía de Bogotá

[www.archdaily.co.https://www.archdaily.co/co/02-72263/en-detalle-techos-verdes](https://www.archdaily.co/co/02-72263/en-detalle-techos-verdes)

Accedido el 02 de mayo del 2021

[www.aristegui.info.https://www.aristegui.info/que-es-un-estanque-de-retencion-y-por-que-las-ciudades-lo-necesitan/](https://www.aristegui.info/que-es-un-estanque-de-retencion-y-por-que-las-ciudades-lo-necesitan/) Accedido el 02 de mayo del 2021

Llopis (17 de enero de 2014) www.blogdelagua.com. Blog del agua.
<https://blogdelagua.com/actualidad/normativa-actual-en-materia-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/>

www.ideam.gov.co <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>

www.precastdrainage.co.uk/. <https://www.precastdrainage.co.uk/page/sustainable-urban-drainage-systems>. Accedido 02 de mayo del 2021

www.pcqro.com.mx, <https://www.pcqro.com.mx/recomendaciones/historia-del-drenaje/>.

Accedido el 24 de abril del 2021.

Ana Abellán(s.f.) SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/>
Accedido el 15 de febrero del 2021

Ana Abellán(13 de marzo 2014) SuD Sostenible <http://sudsostenible.com/componentes-tipicos-de-un-sistema-de-biorretencion/>

www.suddostenible.com. SuD Sostenible <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/cubiertas-vegetadas/> Accedido el 15 de agosto del 2021

Ana Abellán(s.f.) SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/depositos-superficiales-de-detencion/> Accedido el 15 de febrero del 2021

Ana Abellán(s.f.) SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/estanques-de-retencion/> Accedido el 15 de febrero del 2021

Ana Abellán(s.f.) SuD Sostenible. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/pozos-y-zanjas-de-infiltracion/> Accedido el 15 de febrero del 2021

Jorge Rodríguez Hernández , Ana Abellán (s.f.) SuD Sostenible.
[Http://sudsostenible.com/normativa/](http://sudsostenible.com/normativa/) Accedido el 15 de agosto del 2021

Ignacio Andrés (27 de noviembre de 2018). <https://www.iagua.es/noticias/iama/domenech-momento-que-existan-normas-que-regulen-suds-despegue-sera-inevitable>

[www.wradio.com.co. W Radio. https://www.wradio.com.co/noticias/regionales/lluvias-causan-inundaciones-en-zona-rural-de-santa-marta/20210509/nota/4133337.aspx.](https://www.wradio.com.co/noticias/regionales/lluvias-causan-inundaciones-en-zona-rural-de-santa-marta/20210509/nota/4133337.aspx)

Accedido el 04 de septiembre del 2021

[www.360enconcreto.com.](https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/recorriendo-latitudes-con-concreto-permeable) <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/recorriendo-latitudes-con-concreto-permeable> Accedido el 13 de septiembre del 2021